



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 57 848 A 1**

51 Int. Cl. 7:
H 03 H 9/64
H 03 H 9/25
// H04Q 7/32

21 Aktenzeichen: 100 57 848.9
22 Anmeldetag: 22. 11. 2000
43 Offenlegungstag: 23. 5. 2002

DE 100 57 848 A 1

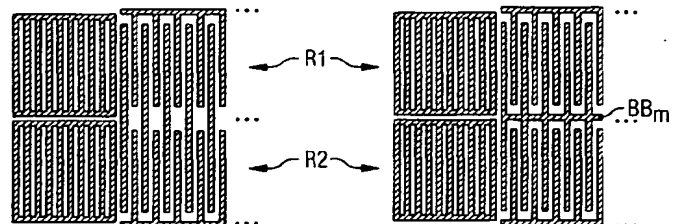
71 Anmelder:
EPCOS AG, 81669 München, DE
74 Vertreter:
Epping, Hermann & Fischer, 80339 München

72 Erfinder:
Meister, Veit, Dr., 15345 Kagel, DE; Ritter, Wolfgang,
81669 München, DE; Jakob, Michael, 81541
München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Reaktanzfilter mit verbesserter Leistungsverträglichkeit

57 Für ein aus Oberflächenwellenresonatoren aufgebautes Reaktanzfilter wird vorgeschlagen, die Oberflächenwellenresonatoren ganz oder teilweise durch Resonator-kaskaden zu ersetzen. Außerdem wird vorgeschlagen, die kaskadierten Resonatoren mit geringem Abstand zueinander zu verschalten und dabei die Phasenlage benachbarter Resonatoren zu variieren.



DE 100 57 848 A 1

[0001] Oberflächenwellenfilter werden beispielsweise als Frontendfilter in Endgeräten für drahtlose Kommunikationssysteme eingesetzt. Insbesondere an das für den Sendebetrieb eingesetzte Filter werden dabei relativ hohe Anforderungen bzgl. der Leistungsverträglichkeit gestellt, die beispielsweise für ein nach dem amerikanischen AMPS-Standard arbeitendes Frontendfilter 33 dBm betragen. Eine hohe durch das Filter geleitete HF-Leistung führt bei nicht leistungsangepassten Filtern zu einer Migration in den metallischen Elektrodenstrukturen, in deren Folge die Elektrodenstrukturen zerstört werden können und das Filter in seinen Eigenschaften verschlechtert oder gar funktionsunfähig gemacht werden kann.

[0002] Während für ein Filter mit geringer Anforderung an die Leistungsverträglichkeit aus Aluminium bestehende Elektrodenstrukturen ausreichend sind, müssen diese bei höherer HF-Leistung zur besseren Leistungsverträglichkeit oft durch aufwendigere Elektrodenstrukturen ersetzt werden, beispielsweise durch Sandwichstrukturen mit alternierenden Schichtfolgen aus Aluminium und Kupfer. Zur Verbesserung der Leistungsverträglichkeit wurde auch vorgeschlagen, die metallischen Elektrodenstrukturen durch den Einsatz geeigneter harter Deckschichten oder von Passivierungsschichten gegen eine Migration zu stabilisieren. Sofern auch diese Maßnahmen für eine ausreichende Leistungsverträglichkeit nicht genügen, muß die Leistungsdichte im Filter reduziert und dazu die akustisch aktive Fläche im Filter vergrößert werden. Mit dieser Maßnahme gelingt auch eine Erhöhung der Spannungsfestigkeit.

[0003] Eine bekannte Technik zur Realisierung von Frontendfiltern sind Reaktanzfilter wie Laddertypfilter oder Notchfilter. Diese bestehen aus einer Vielzahl von Oberflächenwellenresonatoren, die miteinander verschaltet sind. Jeder der Resonatoren besteht aus einem Interdigitalwandler, der neben einem oder zwischen zwei Reflektoren angeordnet sein kann oder gar keinen Reflektor aufweist. Durch entsprechende Wahl der Resonanzfrequenzen, Aperturen und Fingerzahlen der Interdigitalwandler in den Oberflächenwellenresonatoren wird erreicht, daß ein im Durchlaßbereich des Filters liegendes HF-Signal annähernd verlustfrei das Filter passieren kann. Ein außerhalb des Durchlaßbereichs gelegenes Signal hingegen wird ausreichend gedämpft.

[0004] Eine Vergrößerung der akustisch aktiven Fläche bei Reaktanzfiltern führt zu einer Vergrößerung der Oberflächenwellenresonatoren, die im geringsten Fall den Faktor 4 beträgt, sofern die Abschlußimpedanzen der einzelnen Resonatoren im Reaktanzfilter nicht verändert werden sollen. Bei einem Oberflächenwellenresonator kann die akustisch aktive Fläche durch Kaskadierung mehrerer Einzelresonatoren vorgenommen werden, was einer Serienschaltung der Einzelresonatoren entspricht. Da bei der Kaskadierung zweier Resonatoren eine Verdoppelung der Impedanz gegenüber einem einzelnen Resonator erhalten wird, muß dies durch eine Verdoppelung der Apertur, eine Verdoppelung der Anzahl der Elektrodenfinger oder durch eine Kombination aus beiden Maßnahmen ausgeglichen werden. Eine Kaskade aus zwei Resonatoren erfordert daher den vierfachen Platzbedarf gegenüber einem Einzelresonator gleicher Impedanz. Eine Kaskadierung von drei Resonatoren führt zum 9-fachen Platzbedarf, eine solche von vier zum 16-fachen.

[0005] Ein auf diese Weise leistungsangepaßtes Reaktanzfilter benötigt aus diesen Gründen eine wesentlich größere Chipoberfläche, was durch die ebenfalls notwendigen Verbindungselemente und Leiterbahnen zwischen den Resonatoren

gesteigert wird. Mit den zusätzlich eingebrachten Leiterbahnen und Verbindungselementen werden außerdem bei einem Reaktanzfilter parasitäre Elemente geschaffen, die als Widerstände, Induktivitäten und Kapazitäten wirken und sich meist negativ auf die Filtereigenschaften auswirken. Bekannte Reaktanzfilter mit kaskadierten Einzelresonatoren weisen einen hohen Abstand zwischen den akustischen Spuren der Resonatoren auf, um insbesondere störende akustische Verkopplungen der einzelnen Spuren untereinander zu minimieren. Die Abstände werden dabei üblicherweise im Bereich vom 10- bis 20-fachen der Wellenlänge der akustischen Oberflächenwellenlänge bei Mittelfrequenz gewählt.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Reaktanzfilter mit verbesserter Leistungsverträglichkeit anzugeben, welches einen geringeren Platzbedarf auf der Chipoberfläche aufweist. Gemäß einer Teilaufgabe der Erfindung sollen außerdem parasitäre Effekte minimiert werden.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Reaktanzfilter mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

[0008] Ausgehend von einem Reaktanzfilter, das aus einzelnen im seriellen oder den parallelen Zweigen angeordneten Oberflächenwellenresonatoren besteht, schlägt die Erfindung vor, sämtliche Oberflächenwellenresonatoren zumindest eines Zweiges – der seriellen und/oder der parallelen Zweige – durch jeweils eine gegenüber dem einzelnen Oberflächenwellenresonator impedanzgleiche Resonator-kaskade zu ersetzen. Dadurch ergibt sich eine wesentlich verbesserte Leistungsverträglichkeit, die der Größe nach der Flächenvergrößerung entsprechen kann.

[0009] Für ein einzelnes Reaktanzfilter ist es sinnvoll, die Oberflächenwellenresonatoren entsprechend ihrer Belastung (elektrisch oder akustisch) durch Resonator-kaskaden zu ersetzen. Die Impedanzgleichheit der Resonator-kaskaden gewährleistet dabei eine elektrisch unveränderte Umgebung gegenüber einem Reaktanzfilter mit Einzelresonatoren. Für die Erfindung ist es also nicht erforderlich, das Anpaßnetzwerk eines erfindungsgemäßen Reaktanzfilters gegenüber demjenigen bekannten Reaktanzfilter zu verändern, von dem das neue Filter abgeleitet ist.

[0010] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden Resonator-kaskaden eingesetzt, die aus einer Anzahl n auf der Chipoberfläche in transversaler Richtung in einem Abstand D nebeneinander angeordneten Resonatoren bestehen. Es wird ein Abstand D gewählt, der kleiner ist als das 5-fache der Wellenlänge λ der Mittelfrequenz der Resonatoren. Für die Anzahl der Resonatoren ergibt sich als vorteilhafter Bereich $5 \geq n \geq 2$. Mit dem gegenüber bekannten Resonator-kaskaden verringerten Abstand der Resonatoren wird einerseits der Flächenbedarf des erfindungsgemäßen Reaktanzfilters gegenüber bekannten Resonator-kaskaden reduziert und gleichzeitig die durch die parasitären Elemente der Verbindungsstrukturen bewirkten Effekte minimiert. Damit werden die Filtereigenschaften verbessert, insbesondere steilere Flanken im Durchlaßbereich erzielt und das Passband-Ripple reduziert.

[0011] Einen maximalen Effekt bzgl. minimalem Flächenbedarf und reduzierten parasitären Effekten weist ein erfindungsgemäßes Reaktanzfilter auf, bei dem der Abstand D der Resonatoren in der Resonator-kaskade mit $D \leq \lambda$ gewählt wird. Bei diesem geringen Abstand der Resonatoren sind keine Verbindungsleitungen zwischen den Resonatoren vorgesehen. Vielmehr weisen in der Resonator-kaskade direkt benachbarte Resonatoren entweder eine gemeinsame mittlere Stromsammelschiene (Busbar) auf, die zumindest einen Teil der Elektrodenfinger beider Resonatoren miteinander verbindet, oder die Verschaltung benachbarter Resonatoren

natoren erfolgt über verlängerte einzelne Elektrodenfinger, die dann jeweils den beiden benachbarten Resonatoren gemeinsam angehören. Auf diese Weise ist es möglich, den Abstand zwischen den Einzelresonatoren bis zu einem Wert von D ungefähr gleich $\lambda/4$ zu drücken. Ein Viertel der Wellenlänge λ entspricht der üblichen Breite der Elektrodenfinger, die daher auch als minimale Breite für die Stromsammel-schiene verwendet werden kann.

[0012] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird zwischen zwei jeweils direkt benachbarten Resonatoren innerhalb einer Resonatorkaskade ein Phasenunterschied der Oberflächenwelle von bis zu 180° eingestellt. Dies hat zum einen den Vorteil, daß die akustische Kopplung direkt benachbarter Resonatoren verändert ist und daß zum anderen die Migration bei der Leistungsbeaufschlagung des Filters und damit der Resonatorkaskade speziell im Bereich zwischen den Resonatoren minimiert ist. Dies wird darauf zurückgeführt, daß sich mit der Phasenverschiebung zwischen zwei benachbarten Resonatoren ein Schwingungsknoten ausbildet, der zu einer geringeren mechanischen Belastung der zwischen den Resonatoren angeordneten metallischen Strukturen (Elektrodenstrukturen) führt. Beispielsweise bei Lithiumtantalatsubstraten ist dieser Effekt erfindungsgemäß bei Resonatorkaskaden optimal, bei denen jeweils benachbarte Resonatoren Phasenunterschiede von 180° aufweisen. Allgemein ist dieser positive Effekt aber vom Substrat abhängig und dabei umso größer, je näher der Phasenunterschied an 180° angenähert ist.

[0013] Vorzugsweise sind die Resonatoren innerhalb einer Resonatorkaskade jeweils gleich groß, besitzen also gleich große akustisch aktive Flächen. Gegenüber einem herkömmlichen Oberflächenwellenresonator weisen sie zur Impedanzanpassung eine erhöhte Elektrodenfingerzahl und/oder eine größere Apertur auf. Vorzugsweise wird die Erhöhung der akustisch aktiven Fläche der Resonatoren in der Kaskade so vorgenommen, daß sich in Abhängigkeit von der auf der Chipoberfläche zur Verfügung stehenden Fläche eine optimale Flächenausnutzung ergibt. Bei einer Resonatorkaskade aus n annähernd gleich großen Resonatoren wird ein Impedanzgleicher Abschluß der Resonatorkaskade erreicht, wenn die akustisch aktive Fläche jedes der Resonatoren auf das n -fache erhöht ist. Die akustisch aktive Fläche ergibt sich dabei näherungsweise aus dem Produkt der Apertur und der Elektrodenfingeranzahl. Abweichungen können insofern eintreten, als in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung die Resonatoren und/oder die Oberflächenwellenresonatoren bzw. deren Interdigitalwandler gewichtet sind. Erfindungsgemäß können die Interdigitalwandler der Resonatoren eine Weglasswichtung und/oder eine Überlappwichtung aufweisen. Damit läßt sich bei den Resonatoren der Abstand der Resonanzpole von den Nullstellen verändern und damit letztlich die Bandbreite des gesamten Reaktanzfilters. Eine Überlappwichtung, die am Rand der Interdigitalwandler geringere Gewichte vorsehen kann, kann erfindungsgemäß dazu verwendet werden, die akustische Energie im Inneren des Interdigitalwandlers zu halten und damit die Güte des Resonators zu verbessern. Eine solche Überlappwichtung kann beispielsweise darin bestehen, endständige Elektrodenfinger zu verkürzen bzw. entsprechende Stummelfinger am gegenüberliegenden Busbar vorzusehen.

[0014] Bei einem erfindungsgemäßen Filter können innerhalb einer Resonatorkaskade in den Interdigitalwandlern unterschiedliche Fingerperioden vorgesehen sein.

[0015] Möglich ist es auch, die Interdigitalwandler der Resonatoren einer Resonatorkaskade zu chirpen, was bedeutet, daß die Fingerperiode eines Resonators in Ausbreitungsrichtung der Oberflächenwelle variiert wird. Möglich ist es auch, innerhalb eines Interdigitalwandlers die Finger-

periode in transversaler Richtung zu variieren, wobei ein aufgefächelter Interdigitalwandler mit in transversaler Richtung zunehmenden Fingerbreiten und Fingerabständen erhalten wird.

[0016] Eine weitere Variationsmöglichkeit erfindungsgemäßer Reaktanzfilter ergibt sich durch Einstellung des transversalen Spaltes zwischen den Enden der Elektrodenfinger und dem jeweils anderen Busbar. Mit größer werdendem Spalt erhöht sich regelmäßig der Anteil von Randeffekten, die die Güte des Resonators reduzieren. Dabei erhöht sich der Anteil der seitlich aus dem Resonator herauslaufenden Oberflächenwellen, der zu höheren Verlusten und damit zu einer höheren Einfügedämpfung des Filters führt. In einigen Fällen kann dieser Effekt jedoch unter Inkaufnahme der Verluste dazu eingesetzt werden, die Durchlaßkurve zu glätten und ein Passband-Ripple zu reduzieren. Allerdings ist dieser Effekt abhängig vom verwendeten Substratmaterial und von der verwendeten Metallisierung.

[0017] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird die Geometrie der Reflektoren innerhalb einer Resonatorkaskade variiert. Dabei ist es möglich, für eine Resonatorkaskade beidseitig je einen gemeinsamen Reflektor für alle Spuren einzusetzen. Ebenso ist es natürlich möglich, für jeden Resonator separat zwei Reflektoren an beiden Enden der akustischen Spur einzusetzen. Die Breite der Reflektoren kann dabei geringer als die Spurbreite sein, wobei sich die Kapazität zum Reflektor erniedrigt. Derartige Variationen können daher dazu eingesetzt werden, die parasitäre Effekte zu minimieren.

[0018] Eine bevorzugte Anwendung erfindungsgemäßer Reaktanzfilter ergibt sich in Duplexern, die ein oder mehrere erfindungsgemäße Reaktanzfiltern enthalten können. Die Resonanzfrequenzen der Resonatoren bzw. die Durchlaßbereiche der beiden Reaktanzfilter sind dabei so gewählt, daß der Durchlaßbereich eines jeden Filters im Sperrbereich des jeweils anderen Filters liegt, so daß in Abhängigkeit von der Wellenlänge des anliegenden HF-Signals immer nur maximal ein Filter durchlässig ist. Im Duplexer fungiert eines dieser Reaktanzfilter als Sendefilter, das andere hingegen als Empfangsfilter. Bei dem in Endgeräten drahtloser Kommunikationssysteme eingesetzten Duplexer ist die Leistungsbelaufschlagung des Sendefilters in der Regel höher als die des Empfangsfilters. Für einen erfindungsgemäßen Duplexer kann es daher ausreichend sein, im Sendefilter die seriellen Oberflächenwellenresonatoren durch Resonatorkaskaden zu ersetzen, ebenso wie im Empfangsfilter die parallelen Oberflächenwellenresonatoren. Um im Sendebetrieb die Signale des Sendebandes im Empfangsfilter zu unterdrücken, wird die Leistungswelle durch gezielte Fehlanpassung reflektiert. Dementsprechend sind bei einem Duplexer im Sendebetrieb auch die parallelen Oberflächenwellenresonatoren im Empfangsfilter mit der Sendeleistung belastet.

[0019] Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der dazu gehörigen Figuren näher erläutert.

[0020] Fig. 1 zeigt einen Oberflächenwellenresonator.

[0021] Fig. 2 den Aufbau eines Reaktanzfilters.

[0022] Fig. 3 zeigt zwei kaskadierte Resonatoren in herkömmlicher Bauweise.

[0023] Fig. 4 zeigt eine erfindungsgemäße Resonatorkaskade.

[0024] Fig. 5 zeigt verschiedene Möglichkeiten, in einer Resonatorkaskade die akustisch aktive Fläche zu erhöhen.

[0025] Fig. 6 zeigt eine Resonatorkaskade mit unterbrochenem Busbar.

[0026] Fig. 7 zeigt eine Resonatorkaskade mit einer Phasenverschiebung von 180° .

[0027] Fig. 8 zeigt eine Resonatorkaskade mit einer Pha-

senverschiebung von 90° .

[0028] Fig. 9 zeigt verschiedene Möglichkeiten, innerhalb einer Resonatorkaskade den Busbar aufzuteilen.

[0029] Fig. 10 zeigt verschiedene Möglichkeiten, innerhalb einer Resonatorkaskade den Abstand, den Spalt und den Reflektor zu variieren.

[0030] Fig. 11 zeigt Resonatorkaskaden mit unterschiedlichen Reflektoranordnungen.

[0031] Fig. 12 zeigt gewichtete Resonatorkaskaden.

[0032] Fig. 13 zeigt Resonatorkaskaden mit Stummelfingern.

[0033] Fig. 1 zeigt einen an sich bekannten Oberflächenwellenresonator R in schematischer Darstellung. Dieser umfaßt einen Interdigitalwandler IDT, der zwischen zwei Reflektoren Ref angeordnet ist. Der Reflektor besteht aus Reflektorstreifen, die auf einem $\lambda/2$ Raster angeordnet sind und wie in der Figur dargestellt miteinander verbunden sein können. Der Interdigitalwandler besteht aus zwei Kammelektroden, jeweils einen Busbar (Stromsammelschiene) BB und Elektrodenfinger EF umfassend. Die Busbars BB sind mit den elektrischen Anschlüssen T verbunden. Links in der Figur ist ein Symbol für einen Resonator dargestellt. In einer realen Struktur ist der Interdigitalwandler IDT mit einer größeren Anzahl an Elektrodenfingern ausgestattet, ebenso weist ein Reflektor eine größere Anzahl an Reflektorstreifen auf.

[0034] Fig. 2 zeigt in schematischer Darstellung mögliche Aufbauten an sich bekannter Reaktanzfilter. Ein solches Reaktanzfilter besteht aus zumindest einem Grundglied, welches in einem seriellen Zweig zwischen den Anschlüssen T1 und T2 zumindest einen seriellen Resonator Rs umfaßt. In einem dazu parallelen Zweig, der zum Anschluß T3 hinführt, ist ein paralleler Resonator Rp angeordnet. Fig. 2a zeigt ein solches Grundglied.

[0035] Durch Hintereinanderschalten mehrerer solcher Grundglieder, gelangt man zu einem komplexeren Reaktanzfilter, wie er beispielsweise in Fig. 2 dargestellt ist. Sind beim Zusammenschalten solcher Grundglieder, die auch in gespiegelter Anordnung verwendet werden können, zwei serielle Resonatoren Rs direkt benachbart (in der Figur Rs2 und Rs3), so können diese zu einem einzigen Resonator zusammengefaßt werden. Ebenso können zwei direkt nebeneinander angeordnete parallele Zweige zu einem einzigen mit nur einem Resonator zusammengefaßt werden. Dementsprechend gehört in der Fig. 2b der parallele Oberflächenwellenresonator Rp1 zwei Grundgliedern an, die jeweils noch die seriellen Oberflächenwellenresonatoren Rs1 bzw. Rs2 umfassen. Die parallelen Zweige können zu unterschiedlichen Anschlüssen T3 und T3 geführt werden. Möglich ist es auch, die Parallelzweige zusammenzufassen und symmetrisch zum seriellen Zweig anzuschließen, also mit einem um 180° phasenverschobenen Signal zu beaufschlagen.

[0036] Fig. 3 zeigt eine bekannte Serienschaltung (Kaskadierung) zweier Resonatoren R1, R2. Dazu werden die beiden Resonatoren auf dem Substrat in transversaler Richtung nebeneinander angeordnet. Die einander benachbarten Busbars BB sind über ein breites Verbindungspad VP miteinander verbunden. Der Abstand D der beiden akustischen Spuren liegt bei bekannten Resonatorkaskaden üblicherweise im Bereich vom 10- bis 20-fachen der Wellenlänge. Nachteilig an dieser Resonatorkaskade ist der höhere Flächenbedarf der Anordnung, der zur Vermeidung der akustischen Verkopplung der beiden Spuren dient.

[0037] Fig. 4 zeigt eine erfindungsgemäß verwendbare Resonatorkaskade, bei der der Abstand D zwischen den Resonatoren R1 und R2 im Bereich einer halben Wellenlänge liegt. Die beiden Resonatoren verwenden einen gemeinsa-

men mittleren Busbar BB_m. Die Elektrodenfinger EF sind in erstem und zweitem Resonator R1, R2 so angeordnet, daß die Anregung der Oberflächenwellen in den beiden Resonatoren gleichphasig erfolgt. Die äußere Verschaltung der Resonatorkaskade erfolgt über die äußeren Busbars BB1 und BB2.

[0038] Fig. 5 zeigt in schematischer Darstellung wie in einer Resonatorkaskade die akustisch aktive Wandlerfläche zu erhöhen ist, um für die Resonatorkaskade Impedanzgleichheit gegenüber einem einzelnen Oberflächenwellenresonator herzustellen.

[0039] Fig. 5a zeigt die aktive Fläche eines einzelnen Oberflächenwellenresonators, während die Fig. 5b, 5c und 5d Resonatorkaskaden zeigen, die aus jeweils zwei kaskadierten Resonatoren bestehen. Fig. 5b zeigt eine Möglichkeit, die zwei Resonatoren mit gleicher Apertur aber jeweils verdoppelter Fingerzahl auszubilden, so daß die Resonatorkaskade gegenüber dem einzelnen Resonator eine vervierfachte akustisch aktive Fläche aufweist. Fig. 5c zeigt eine Möglichkeit, die akustisch aktive Fläche durch Erhöhung (Verdopplung) der Apertur der einzelnen Resonatoren zu bewerkstelligen. Fig. 5d zeigt eine Möglichkeit, sowohl Apertur als auch Fingeranzahl der beiden einzelnen Resonatoren zu erhöhen. Die akustisch aktive Fläche, die sich aus dem Produkt der Fingeranzahl mit der Apertur ergibt, führt auch hier zu einer Verdopplung der aktiven Fläche des Resonators und zu einer Vervielfachung der Fläche für die gesamte Resonatorkaskade.

[0040] Fig. 5e zeigt eine Möglichkeit, den in Fig. 5a dargestellten einzelnen Oberflächenresonator durch eine Dreifachkaskade mit der insgesamt 9-fachen akustisch aktiven Fläche zu ersetzen. Auch hier ist natürlich möglich, die akustisch aktive Fläche durch Erhöhung der Fingeranzahl und damit der Länge der einzelnen Resonatoren zu erhöhen. Ebenso ist es möglich, die Apertur der einzelnen Resonatoren der Resonatorkaskade entsprechend zu erhöhen.

[0041] Fig. 6 zeigt ausschnittsweise eine erfindungsgemäße Resonatorkaskade mit zwei in Serie geschalteten Resonatoren. Die gepunktete Linie deutet die Weiterführung der dargestellten Struktur an, die dann wieder mit einem Reflektor abschließt. In diesem Ausführungsbeispiel wird auf den mittleren Busbar verzichtet, die elektrische Verschaltung zwischen den beiden Resonatoren erfolgt durch entsprechend verlängerte Elektrodenfinger, die beiden Resonatoren gemeinsam angehören. In der dargestellten Ausführung sind die verlängerten Elektrodenfinger zwischen den beiden kaskadierten Resonatoren seitlich versetzt, so daß die akustische Oberflächenwelle in beiden Resonatoren gleichphasig und ohne Phasenverschiebung erzeugt wird.

[0042] Fig. 7 zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei der zwei Resonatoren mit einer Phasenverschiebung der akustischen Oberflächenwelle von 180° kaskadiert sind. In Fig. 7a wird ähnlich wie in Fig. 6 die Verschaltung der Resonatoren durch entsprechend verlängerte und beiden Resonatoren angehörige Elektrodenfinger ohne mittleren Busbar vorgenommen, wohingegen in Fig. 7b die gleiche Phasenverschiebung mit einem gemeinsamen mittleren Busbar BB_m erfolgt. Während die Ausführung nach 7a den Vorteil hat, daß der Abstand der beiden Resonatoren aufgrund des fehlenden mittleren Busbars weiter minimiert werden kann, ist die Ausführung nach Fig. 7b bezüglich der Zuverlässigkeit und damit der Lebensdauer des Filters bevorzugt, da sich der Ausfall eines einzelnen Elektrodenfingers, beispielsweise durch Migration, nur im dazugehörigen Resonator auswirkt, während der Ausfall eines verlängerten Elektrodenfingers in Fig. 7a in beiden Resonatoren entsprechende Verluste und damit eine Reduzierung der Güte zur Folge hat.

[0043] Möglich ist es auch, neben den gleich- und gegenphasigen Anordnungen beliebige andere zwischen 0 und 180° liegenden Phasenverschiebungen zweier innerhalb einer Resonatorkaskade benachbarter Resonatoren einzustellen. Fig. 8 gibt zwei solcher Möglichkeiten an, wobei in Fig. 8a die Verschaltung zweier benachbarter Resonatoren über entsprechend verlängerte und beiden Resonatoren angehörige Elektrodenfinger ohne mittleren Busbar erfolgt. Der zur Phasenverschiebung erforderliche seitliche Versatz erfolgt zwischen beiden Resonatoren. Fig. 8b zeigt zwei benachbarte Resonatoren einer Resonatorkaskade mit mittlerem Busbar BB_m . In beiden Figuren ist jeweils eine Phasenverschiebung von 90° eingestellt. Allgemein gilt, daß durch die Phasenlage zweier benachbarter Resonatoren in einer Resonatorkaskade das akustische Verhalten der beiden Resonatoren beeinflusst werden kann, welches jedoch im Einzelfall in Abhängigkeit vom verwendeten Substrat, von der verwendeten Metallisierung und der übrigen Filtergeometrie zu optimieren ist. Versuche haben gezeigt, daß bei Variation der Phasenlage unter Beibehaltung sämtlicher anderer Parameter die Migration und damit die zunehmende Zerstörung des Filters unter Leistungsbeaufschlagung beeinflusst wird.

[0044] In Fig. 9 sind erfindungsgemäße Resonatorkaskaden dargestellt, die beide keinen durchgehenden mittleren Busbar aufweisen. Vielmehr sind mit einer gegebenenfalls mehrfach unterbrochenen Metallisierung, die zwischen den beiden Resonatoren angeordnet ist, gegebenenfalls unterschiedlich große Gruppen von Elektrodenfingern miteinander verbunden. Fig. 9a gibt ein Beispiel mit 0° Phasenverschiebung zwischen den beiden benachbarten Resonatoren an, während in Fig. 9b eine Phasenverschiebung von 180° zwischen den beiden benachbarten Resonatoren eingestellt ist.

[0045] Fig. 10 zeigt vier Ausführungsbeispiele, die Variationsmöglichkeiten bezüglich des transversalen Spaltes mit und ohne mittlerem Busbar sowie Variationsmöglichkeiten bezüglich der Reflektoren an den Resonatoren aufzeigen. Fig. 10a zeigt zwei kaskadierte Resonatoren ohne mittleren Busbar in gegenphasiger Anordnung (Phasenverschiebung 180°) und vergrößertem transversalen Spalt. Fig. 10b zeigt eine entsprechende Anordnung mit minimalem transversalen Spalt. Unabhängig von der Verschaltung der Resonatoren sind in Fig. 10a und 10b zwei Möglichkeiten angegeben, die Reflektoren der kaskadierten Resonatoren als voneinander getrennte Streifenstrukturen (Fig. 10a) oder als gemeinsame, benachbarten Resonatoren gemeinsam angehörige einheitliche und zusammenhängende Reflektorstruktur auszuführen (Fig. 10b).

[0046] Fig. 10c und 10d zeigen zwei kaskadierte Resonatoren, die über einen mittleren Busbar BB_m miteinander verschaltet sind.

[0047] Fig. 10c zeigt eine Anordnung mit relativ großem transversalen Spalt, Fig. 10d dagegen eine mit minimalem transversalem Spalt. Zusätzlich zeigt Fig. 10d die Möglichkeit, den transversalen Spalt am mittleren Busbar BB_m unabhängig vom transversalen Spalt zu den beiden äußeren Busbars BB_1 und BB_2 zu variieren. Fig. 10c und 10d geben auch verschiedene Möglichkeiten an, die Reflektoren benachbarter Resonatoren als voneinander getrennte Strukturen (Fig. 10c) oder als gemeinsame Struktur mit mittlerem "Busbar" (Fig. 10d) auszubilden.

[0048] Fig. 11 zeigt zwei erfindungsgemäße Ausführungsformen mit jeweils drei zu einer Kaskade verschalteten Resonatoren. Zwischen zwei benachbarten Resonatoren ist ein Phasenunterschied von 180° eingestellt, die Verschaltung benachbarter Resonatoren erfolgt über die gemeinsamen zwischen den Resonatoren liegenden Busbars. Fig. 11a zeigt eine Ausführung, bei der die Reflektoren der Resonatoren

voneinander getrennte Strukturen darstellen, während Fig. 11b für alle drei Resonatoren eine gemeinsame Reflektorstruktur zeigt, die alternativ (nicht dargestellt) entsprechend Fig. 8d in Verlängerung der mittleren Busbars BB_m1/BB_m2 die Reflektorstreifen verbindende Metallisierungen aufweisen können.

[0049] Fig. 12 zeigt verschiedene Ausführungsformen von Zweifachkaskaden, bei denen die Interdigitalwandler eine Weglasswichtung aufweisen. Bei einer solchen Wichtung wird die Anschlußfolge der Elektrodenfinger, also deren Verschaltung mit oberem oder unterem Busbar variiert. Üblicherweise erfolgt die Weglasswichtung so, daß – ausgehend von einer normalen alternierenden Anschlußfolge – einzelne Elektrodenfinger mit dem jeweils gegenüberliegenden Busbar verschaltet werden, wobei man von gespiegelten Elektrodenfingern spricht. Möglich ist es jedoch auch, die Veränderung der Anschlußfolge willkürlich vorzunehmen, wobei auch innerhalb eines Resonators Phasenwechsel PW erfolgen können (siehe z. B. Fig. 12e, oberer Resonator). Fig. 12a und 12b zeigen Anordnungen ohne Phasenverschiebung, die sich zusätzlich noch in der Strukturierung des mittleren Busbars unterscheiden. Der mittlere Busbar in Fig. 12a ist gesplittet. Fig. 12c und 12d zeigen zweifach kaskadierte Resonatoren mit mittlerem Busbar, der in Fig. 12c gesplittet ist. Für alle vier Ausführungen gemäß Fig. 12 gilt, daß die Weglasswichtung in longitudinaler Richtung (= Ausbreitungsrichtung der Oberflächenwelle) mit regelmäßiger oder unregelmäßiger Verteilung der Gewichte erfolgen kann.

[0050] Fig. 13 zeigt vier weitere Ausführungsbeispiele, die eine weitere grundlegende Modifikationsmöglichkeit von Resonatorkaskaden angibt, die in erfindungsgemäßen Reaktanzfiltern eingesetzt werden können. Die Resonatoren können Stummelfinger aufweisen, so daß unabhängig von der Größe des transversalen Spalts und der Entfernung der Busbars die Apertur der Resonatoren verringert werden kann. Dabei ist es möglich, die Stummelfinger SF entweder nur an den äußeren Busbars BB_1 , BB_2 (Fig. 13a, 13c) oder alternativ an allen Busbars BB_1 , BB_m , BB_2 vorzusehen (siehe Fig. 13b und 13d). In allen Teilfiguren der Fig. 13 sind Resonatorkaskaden mit 180° Phasenverschiebung zwischen den benachbarten Resonatoren dargestellt, möglich sind aber grundsätzlich auch alle anderen Phasenverschiebungen. Zusätzlich variiert zwischen den dargestellten Ausführungsbeispielen die Breite der Reflektoren, die in Abhängigkeit von der Apertur gewählt werden kann. Zur kapazitiven Anpassung der Resonatorkaskaden kann die Breite der Reflektoren auch unabhängig von der Apertur variiert werden. Nicht dargestellt ist in den Ausführungsbeispielen die Möglichkeit, Stummelfinger nur an dem mittleren Busbar BB_m vorzusehen.

[0051] Fig. 14 zeigt beispielhafte Ergebnisse erfindungsgemäßer Variationen und deren Einfluß auf das Transmissionsverhalten (Übertragungsverhalten) erfindungsgemäßer Reaktanzfilter. Dargestellt ist beispielsweise die Übertragungskurve (Transmission IS21) eines aus einem Grundglied bestehenden erfindungsgemäßen Reaktanzfilters, bei dem sowohl serieller als auch paralleler Oberflächenwellenresonator durch Resonatorkaskaden ersetzt sind. Meßkurve 1 entspricht einem Reaktanzfilter, bei dem die Resonatoren der Resonatorkaskaden einen Abstand D von ca. 20 Wellenlängen aufweisen, die mit einem verbreitertem Verbindungspfad elektrisch verbunden sind. Kurve 2 zeigt eine bevorzugte Ausführung mit direkt benachbarten, einen schmalen gemeinsamen, mittleren Busbar aufweisenden Resonatoren. Zwischen den Resonatoren ist ein Phasenunterschied von 180° eingestellt. Kurve 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem im Unterschied zur Kurve 2 zwischen den Resonatoren

toren 0° Phasenunterschied eingestellt ist.

[0052] Anhand der Meßkurven zeigt sich deutlich, daß das Übertragungsverhalten durch die erfindungsgemäßen Variationen erheblich verbessert werden kann. Diese Verbesserung zeigt sich insbesondere im Durchlaßbereich, wobei Kurve 2 beispielsweise ein nur noch minimales Passband-Ripple aufweist. Erhebliche Verbesserungen ergeben sich auch beim Übergang von der Flanke in das Passband, welcher mit der Erfindung deutlich abrupter eingestellt werden kann. Das erfindungsgemäße Filter geht daher schneller vom Sperrbereich in den Durchlaßbereich mit minimaler Einfügedämpfung über. Wie bereits erwähnt, zeigt hier zwar das Ausführungsbeispiel mit 180° Phasenverschiebung zwischen benachbarten Resonatoren die besten Ergebnisse, was hier jedoch ausschließlich im Zusammenhang mit der verwendeten Metallisierung und dem verwendeten Substrat (Lithiumtantalat) und Substratschnitten steht. Bei anderen Substraten, Substratschnitten und bei anderen Metallisierungen können optimale Ergebnisse ggf. auch mit anderen Phasenunterschieden erzielt werden.

[0053] Fig. 15 zeigt die die Admittanz Y_{11} verschiedener Resonatoren und Resonatorkaskaden. Dargestellt sind Admittanzmeßkurven von Dreifachkaskaden. Meßkurve 1 ist an einer Anordnung mit weit voneinander beabstandeten Resonatoren und breitem Verbindungspfad gemessen. Meßkurve 2 entspricht einer Dreifachkaskade mit schmalen mittleren Busbars und 180° Phasenverschiebung zwischen benachbarten Resonatoren, während Meßkurve 3 an einer Anordnung mit schmalen mittleren Busbars und 0° Phasenunterschied wiedergibt. Auch hieraus ersieht man, daß das Ausführungsbeispiel entsprechend der Kurve 3 die besten Ergebnisse zeigt, da die Kurve die geringsten Unregelmäßigkeiten (gestörte Flanken) aufweist.

[0054] In den Ausführungsbeispielen und in den dazu gehörigen Figuren ist nur ein Teil der möglichen Variationen der Erfindung dargestellt. Erfindungsgemäß ist es möglich, sämtliche Komponenten erfindungsgemäßer Reaktanzfilter unabhängig voneinander zu variieren, wobei Unterkombinationen der verschiedenen dargestellten Ausführungen möglich sind. Selbstverständlich ist es auch möglich, die bei Zweifachkaskaden dargestellten Variationsmöglichkeiten auch auf Dreifach- und Mehrfachkaskaden auszuweiten. In jedem Fall wird mit der Erfindung ein Reaktanzfilter erhalten, welches bei gegebenem Elektrodenmaterial eine erhöhte Leistungsfestigkeit und einen verminderten Flächenbedarf auf dem Substrat bei gleichgroßer akustisch aktiver Fläche ermöglicht. Durch Variation einzelner oder mehrerer Parameter kann außerdem das Durchlaßverhalten gegenüber bekannten Filtern verbessert werden.

Patentansprüche

1. Reaktanzfilter, aufgebaut aus Oberflächenwellenfiltern, mit einem seriellen und/oder einem parallelen Zweig, in dem mindestens ein Oberflächenwellenresonator (R) angeordnet ist, wobei jeder Oberflächenwellenresonator einen interdigitalen Wandler (IDT) umfaßt, wobei zumindest ein Oberflächenwellenresonator durch eine in den Abschlüssen gegenüber dem Oberflächenwellenresonator impedanzgleiche Resonatorkaskade in Serie geschalteter Resonatoren ersetzt ist.
2. Reaktanzfilter nach Anspruch 1, bei dem jede Resonatorkaskade aus n in transversaler Richtung im Abstand $D < 5\lambda$ übereinander angeordneter Resonatoren gebildet ist, wobei λ die Wellenlänge der Oberflächenwelle bei Mittenfrequenz der Resonatoren und $2 \leq n$ ist.

3. Reaktanzfilter nach Anspruch 2, bei dem für den Abstand D der Resonatoren gilt: $D \leq \lambda$, wobei zwischen jeweils zwei benachbarten Resonatoren eine beiden Resonatoren gemeinsame Stromsammelschiene angeordnet ist, die zumindest einen Teil der Elektrodenfinger beider Resonatoren miteinander verbindet, oder wobei die serielle Verschaltung über verlängerte einzelne Elektrodenfinger erfolgt, die jeweils zwei benachbarten Resonatoren gemeinsam angehören.
4. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem zwischen jeweils zwei benachbarten Resonatoren einer Resonatorkaskade ein Phasenunterschied der Oberflächenwelle von 180° eingestellt ist.
5. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Resonatoren innerhalb einer Resonatorkaskade jeweils gleich groß sind und zur Impedanzanpassung gegenüber einem Oberflächenwellenresonator eine erhöhte Elektrodenfingeranzahl und/oder eine höhere Apertur aufweisen.
6. Reaktanzfilter nach Anspruch 5, bei dem die akustisch aktive Fläche eines jeden der n Resonatoren einer Resonatorkaskade, gebildet aus dem Produkt der Apertur und der Elektrodenfingeranzahl, um den Faktor n erhöht ist.
7. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die Interdigitalwandler der Resonatoren und/oder der Oberflächenwellenresonatoren gewichtet sind.
8. Reaktanzfilter nach Anspruch 7, bei dem die Interdigitalwandler eine Weglasswichtung und/oder eine Überlappwichtung aufweisen.
9. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Interdigitalwandler unterschiedlicher Resonatoren innerhalb einer Resonatorkaskade eine unterschiedliche Fingerperiode aufweisen.
10. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Interdigitalwandler der Resonatoren einer Resonatorkaskade eine in Ausbreitungsrichtung der Oberflächenwelle variierende Fingerperiode aufweisen.
11. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Interdigitalwandler der Resonatoren einer Resonatorkaskade eine in transversaler Richtung variierende Fingerperiode aufweisen.
12. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die Interdigitalwandler zwischen zwei als Reflektoren für die Oberflächenwelle wirkenden Gitterstrukturen – Reflektoren – angeordnet sind, wobei die Reflektoren der einzelnen Resonatoren innerhalb einer Resonatorkaskade zur Kapazitätsanpassung eine transversale Abmessung aufweisen, die geringer ist, als die Apertur der Resonatoren.
13. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem die Elektrodenfinger und Stromsammelschienen umfassenden Elektrodenstrukturen aus Aluminium ausgebildet sind.
14. Reaktanzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 13, welches mit einem zweiten Reaktanzfilter zu einem Duplexer verschaltet ist, bei dem jeweils der Durchlaßbereich eines Filters im Sperrbereich des jeweils anderen Filters liegt, wobei eines der Reaktanzfilter als Empfangsfilter und das andere Reaktanzfilter als Sendefilter des Duplexers fungiert, wobei ein oder mehrere Oberflächenwellenresonatoren durch Resonatorkaskaden ersetzt sind.
15. Reaktanzfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem mehrere Resonatorkaskaden vorgesehen sind, die unterschiedlich sind bezüglich der Anzahl n an Resonatoren, der Anzahl NF der Elektrodenfinger

und/oder der Apertur der Resonatoren.

16. Verwendung eines Reaktanzfilters nach einem der vorangehenden Ansprüche in einem Duplexer für Kommunikationsendgeräte.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

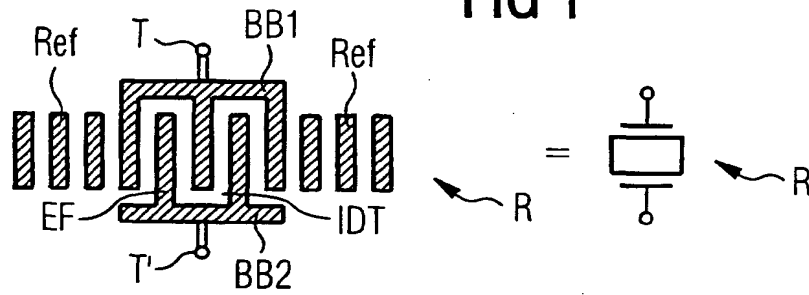
50

55

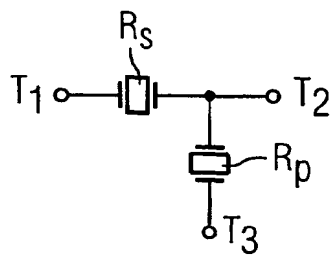
60

65

FIG 1



a) FIG 2



b)

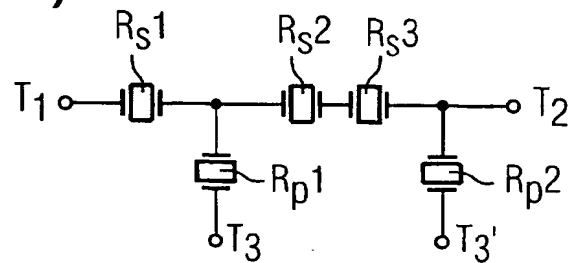


FIG 3

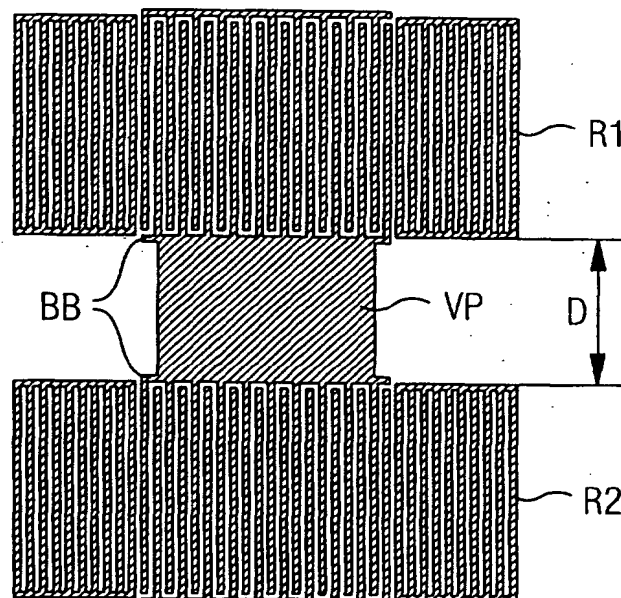


FIG 4

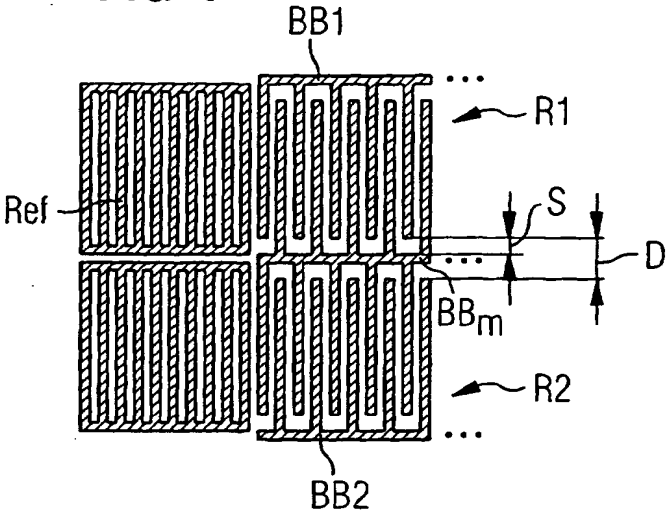


FIG 5

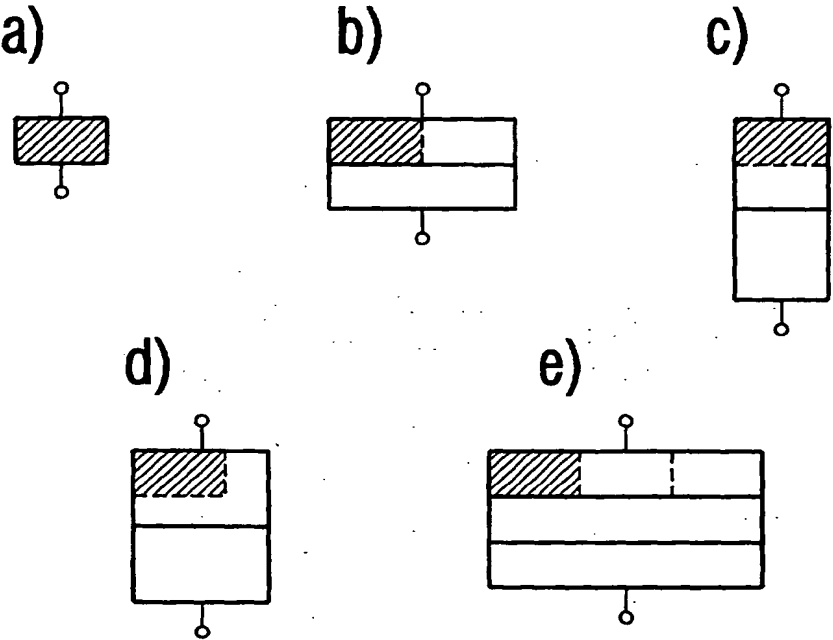
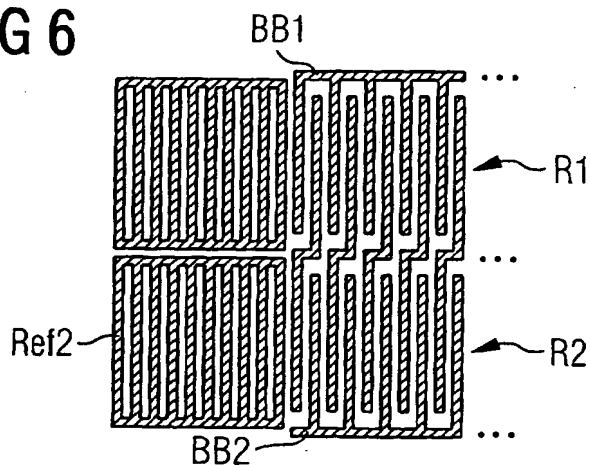


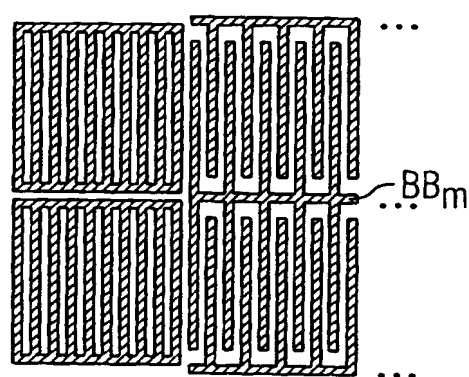
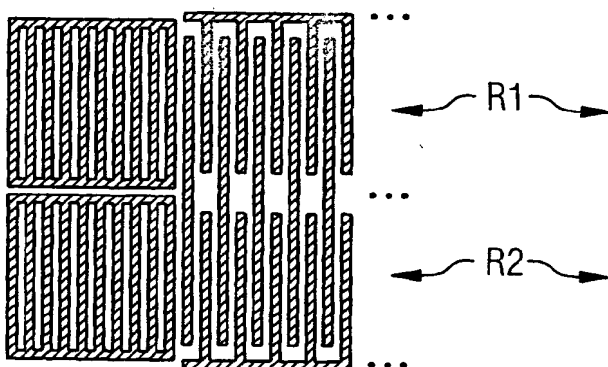
FIG 6



a)

FIG 7

b)



a)

FIG 8

b)

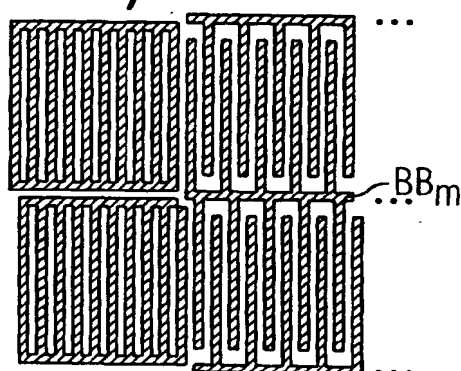
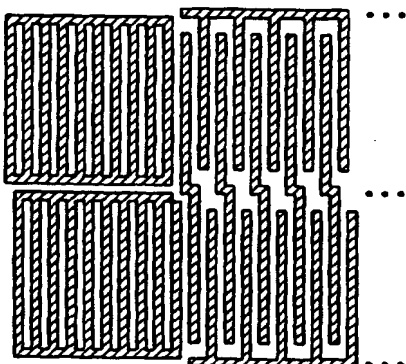


FIG 9

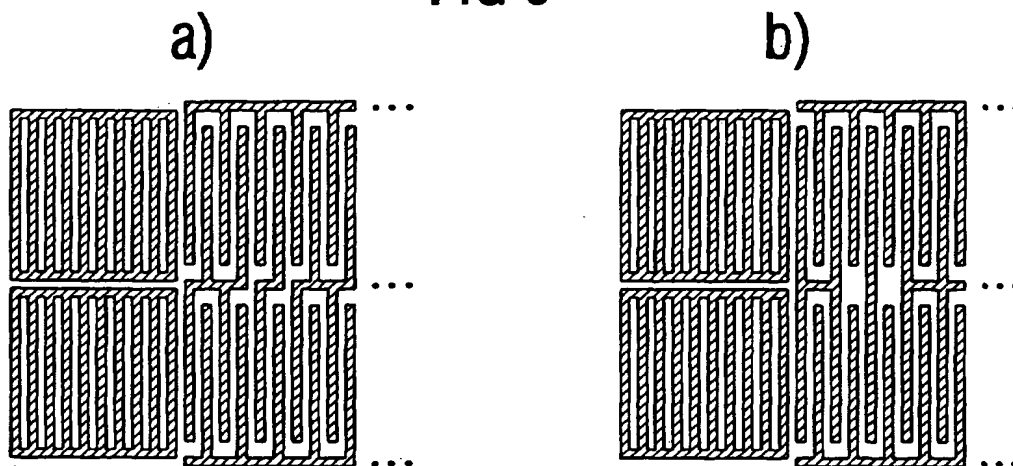


FIG 10

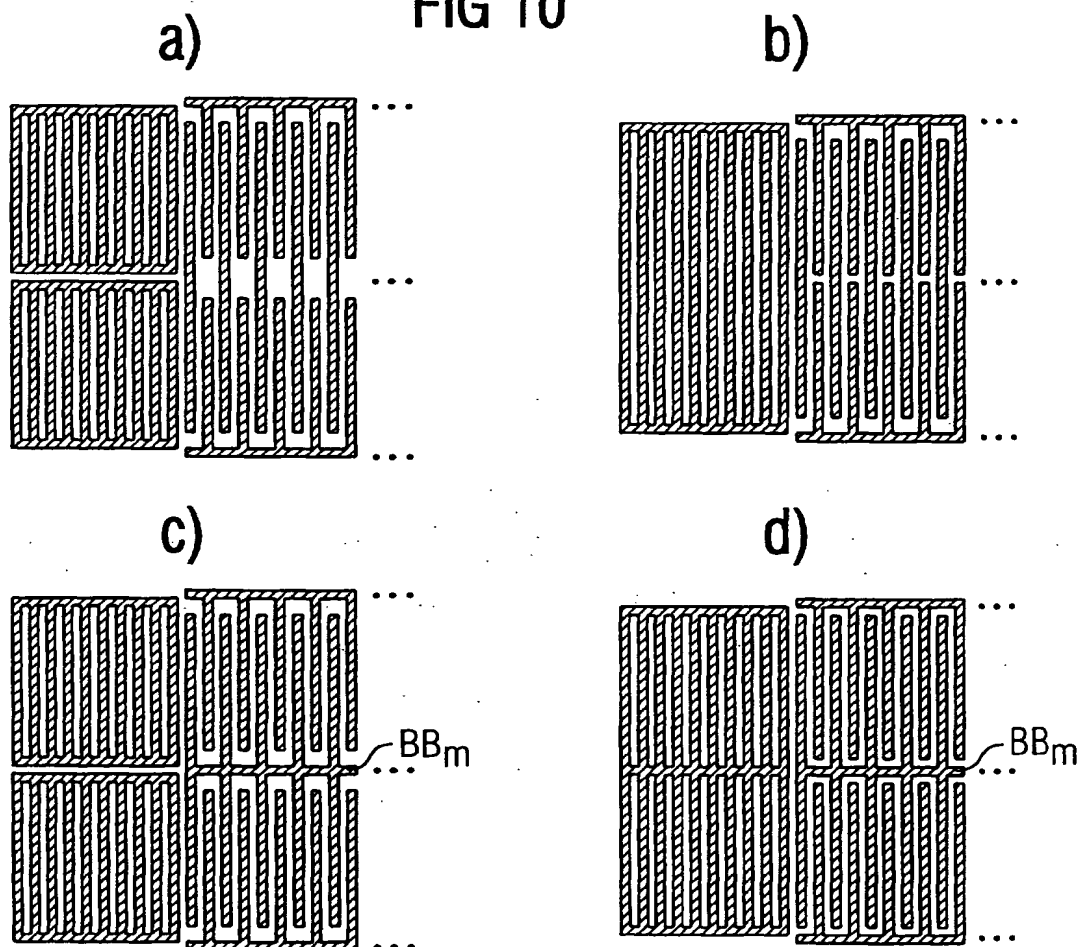


FIG 11

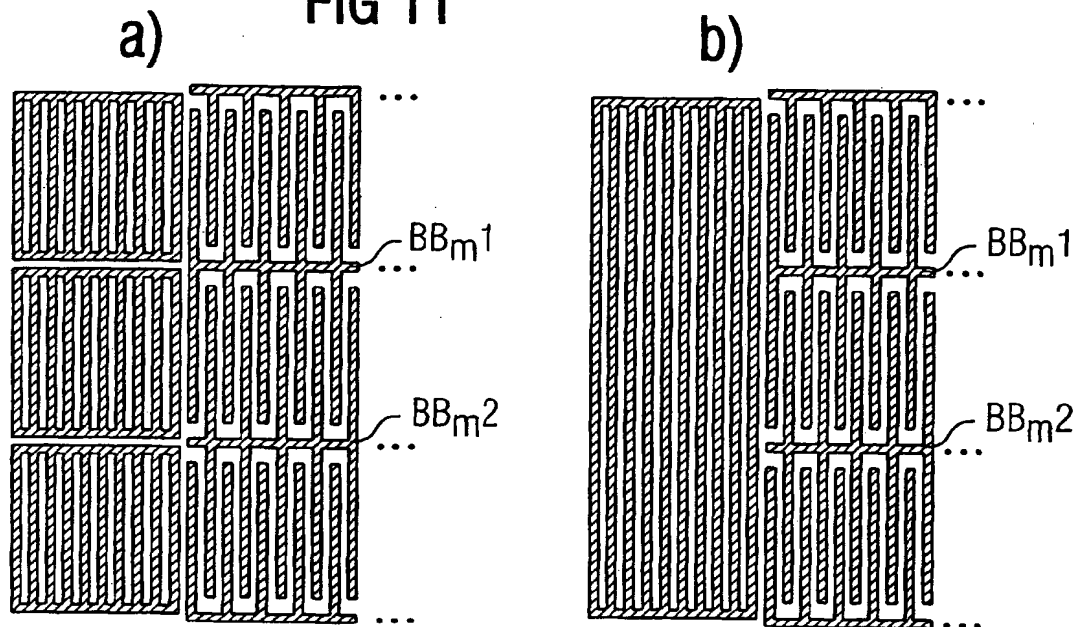


FIG 12

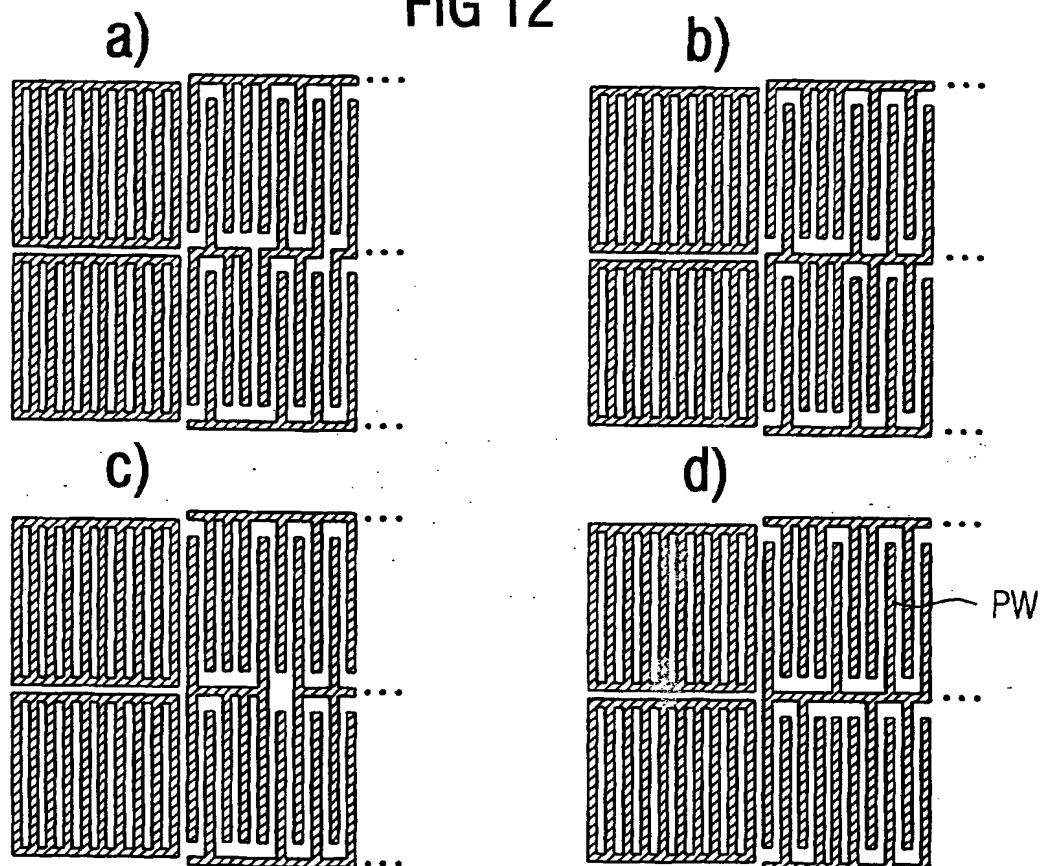


FIG 13

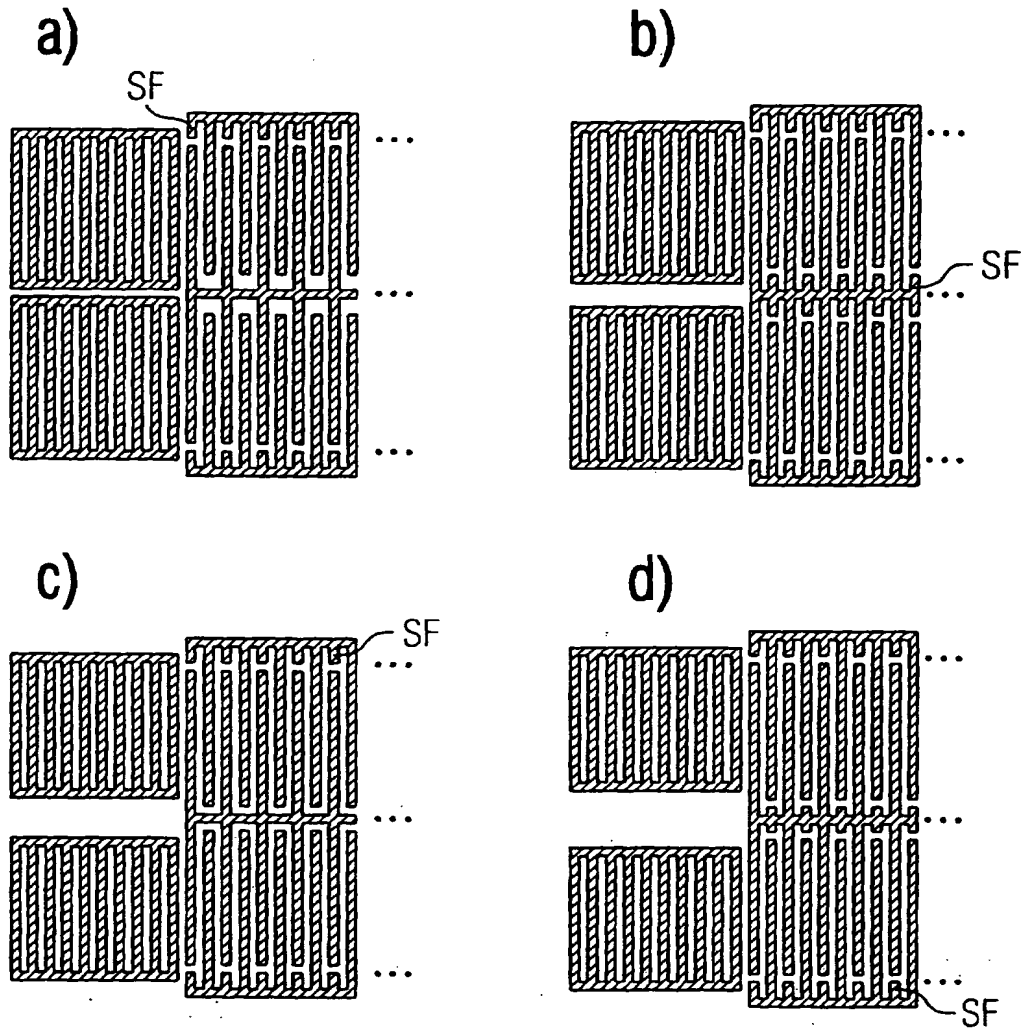


FIG 14

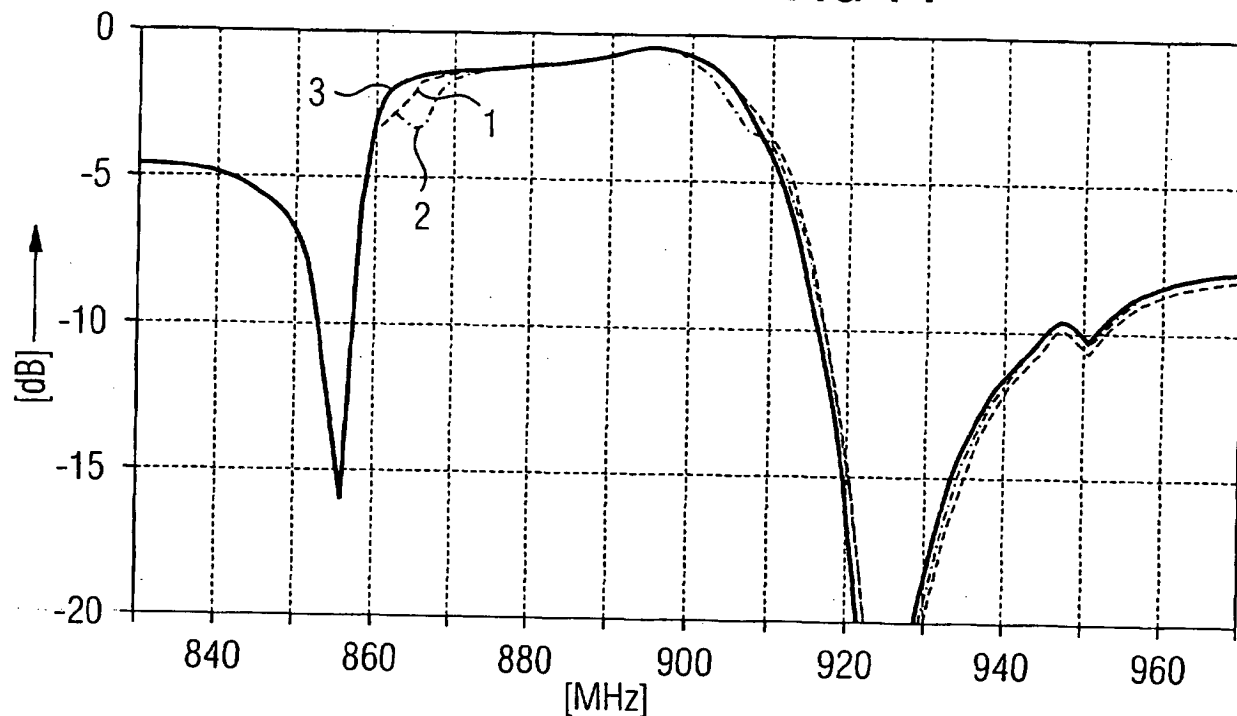


FIG 15

